

우리나라 서해에서 발생한 겨울철 고파의 관측자료 분석

Analysis of the Observation Data for Winter-Season High Waves Occurred in the West Sea of Korea

오상호* · 정원무* · 김상익**
Sang-Ho Oh*, Weon-Mu Jeong* and Sang-Ik Kim**

요지 : 우리나라 서해안 다섯 개 관측점에서 취득된 파랑자료를 분석하여 겨울철 서해에서 발생한 고파의 특성을 분석하였다. 고파가 발생하였던 네 시기를 선별하여 그 기간 동안의 파랑 및 기상자료를 함께 분석에 이용하였다. 이들 관측 기간 중 유의파고의 최대값은 2005년 12월 4일에 관측된 6.42 m였다. 분석 결과로부터 온대성저기압이 급속하게 발달할 때 서해상에 형성되는 강한 바람장에 의해 고파가 발생함을 확인하였다. 파랑 관측점에서의 파고의 시간적 변화는 인근 기상관측점에서의 풍속의 시간적 변화와 밀접한 관련을 나타냈으며, 이는 서해상에서 생성된 고파가 풍파의 성격이 지배적임을 나타낸다.

핵심용어 : 서해, 고파, 온대성저기압, 파랑 관측, 겨울 폭풍

Abstract : Characteristics of high waves occurred in winter season on the west coast of Korea were investigated by analyzing the wave data observed at five observation locations. Records of four different high waves were subjected to the analysis together with the corresponding meteorological data during those time periods. The significant wave height reached its maximum of 6.42 m on December 4th, 2005. It was clarified that the high waves occurred due to strong wind fields that were formed over the west sea of Korea when the extra-tropical cyclone was excessively developed. Characteristics of the high waves generated in the west sea seemed to be predominantly wind sea as the temporal variation of the wave height at the coast were closely related to those of the wind speed measured at neighboring weather stations.

Keywords : west sea, high waves, extra-tropical low pressure, wave observation, winter storm

1. 서 론

우리나라 서해에서는 태풍이 발생하지 않는 겨울철에도 상당히 높은 파도가 종종 출현하는데 이는 겨울철 중위도에서 발생하는 이동성 온대저기압에 의한 북서풍의 영향 때문이다 (Chong and Seol, 2007). 이동성 저기압에 의한 풍랑(유의파고 3 m 이상)은 매년 겨울철에 평균적으로 2~3차례 이상 나타나며 이로 인한 서해 해상 및 연안에서의 인명 및 재산 피해는 지속적으로 발생하고 있다.

겨울철 서해상에서 악기상 현상이 종종 발생하며 이로 인해 높은 파도가 출현한다는 사실은 어느 정도 알려져 있지만 (Kim and Chung, 1987), 서해상에서의 고파를 관측하고 그 특성을 분석한 연구는 많지 않다. 우리나라 주변 해역 5개 정점에서 취득된 부이 관측자료를 이용하여 해상풍과 파랑의 관계를 분석하고 서해에서의 해상풍과 파랑의 상관관계가 높음을 설명한 연구가 있으며 (Chang et al., 2003; Ko et al.,

2005), 비록 겨울철 서해상에서의 파랑을 직접 관측하거나 분석한 연구는 아니지만 1994년부터 2004년까지 11년 동안의 지상일기도를 분석하여 겨울철 온대성저기압의 주요 이동경로를 조사하고 고파랑의 발생 가능성을 고려하여 서해에서 활동하는 국가어업지도선의 안전한 피항지를 선정할 연구가 이루어진 바 있다 (Chong and Seol, 2007). 한편, 우리나라와 서해를 공유하고 있는 중국측에서도 서해상에서 발생하는 파랑에 관한 연구가 일부 수행되었으나 (Hwang et al., 1999; Zhao et al., 2012; Liang et al., 2014; Yang et al., 2014), 주로 서해 남부지역 및 동중국해 또는 중국측 연안 파랑에 관심을 가지고 연구가 수행되었기 때문에 우리나라 서해안 연안에서의 파랑 특성과의 관련성은 적은 편이다.

서해상에서는 다양한 어업 및 산업 활동이 연중 이루어지고 있으며, 인천, 평택, 군산, 목포 등 중규모 이상 항만도 다수 위치하여 선박 통행량도 많다. 또한, 최근 서남해안에서 해상풍력단지 개발사업 등 해양공간의 이용 범위가 점차 확대

*한국해양과학기술원 연안공학연구본부 (Corresponding author: Sang-Ho Oh, Coastal & Environmental Engineering Division, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Ansan, Kyunggi 426-744, Korea. Tel: +82-31-400-7802, Fax: +82-31-408-5823, E-mail: coast.oh@gmail.com)
**한국해양과학기술원 연안재해 · 재난연구센터 (Coastal Disaster Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology)

되고 있기 때문에 겨울철에 발생하는 고파의 특성을 자세히 규명할 필요가 있다. 이러한 맥락에서 본 연구에서는 서해상에 비교적 높은 파가 발생하였던 2005년 10월과 12월, 2008년 11월, 2009년 1월에 서해안 주요 관측지점에서 취득된 파랑 관측자료를 분석하여 서해에서 발생하는 고파의 특성을 규명하였다. 특히 고파가 발생하였던 기간 동안의 기상자료를 입수하여 고파 발생 시 온대성저기압의 이동에 따른 기상학적 상황을 분석하고 겨울철 서해상에서 발생하는 고파의 특성을 종합적으로 고찰하였다. 향후 서해상에서 발생하는 고파에 대한 지속적인 연구를 수행하여 고파 발생 및 해안가 내습에 대한 예보 정확도를 향상시킴으로써 서해 고파로 인한 재해 및 재난을 최소화하는 노력이 계속되어야 할 것이다.

2. 서해 고파 관측자료 분석

이 논문에서는 2005년 10월 20~25일과 12월 3~8일에는 백령도, 군산, 안마도, 가거초에서 관측된 파랑자료를, 2008년 11월 25~30일과 2009년 1월 21~26일에는 백령도, 만리포, 안마도, 가거초에서 관측된 파랑자료를 분석에 이용하였다. 파 관측이 수행된 지점의 위치는 Fig. 1에 ■ 표시로 나타내었다. 파 관측에는 수압식 파고계가 사용되었으며, 파고계가 설치된 곳의 수심은 Table 1에 나타낸 것처럼 모두 20 m 이내였다. 파고계의 자료 수집 시간 간격은 0.5초이며, 30

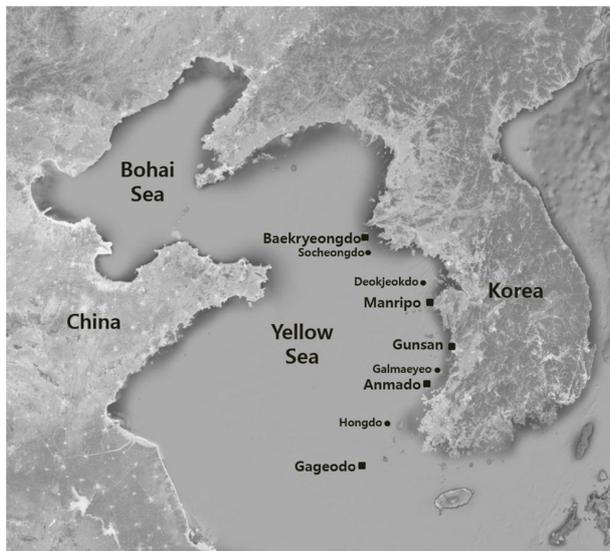


Fig. 1. Location map of the field measurement stations.

Table 1. Basic information on the wave measurement stations

Station	Latitude	Longitude	Water depth (m)
Baekryeongdo	37°59' 08.9" N	124°37' 34.5" E	15.0
Manripo	36°47' 50.1" N	126°08' 09.1" E	8.0
Gunsan	35°58' 44.9" N	126°29' 24.2" E	14.0
Anmado	35°23' 78.9" N	126°05' 27.1" E	12.5
Gageocho	33°56' 31.8" N	124°35' 39.0" E	16.5

분마다 2,048개의 자료를 이용하여 파 스펙트럼을 계산하였다. 따라서 유의파고 및 주기의 값은 30분 간격으로 생성된다.

Fig. 2에는 네 관측 기간 동안 파랑 관측점에서 취득된 유의파고(H_s)의 시계열을 나타내었다. 모든 경우에서 고파가 해안에 도달하기 전에는 유의파고가 1 m 미만이었지만, 고파 내습 후 급격하게 파고가 상승하는 패턴이 나타났다. 파고가 상승하기 시작하는 시점, 즉 고파가 해안에 처음으로 도달하는 시점을 정량적으로 파악하기 위해서 본 연구에서는 유의파고의 값이 0.8 m 미만이면서, 그 시점으로부터 30분 경과 후 유의파고의 값이 0.3 m 이상 증가하는 2가지 조건을 동시에 만족시키는 시점을 찾아서 고파의 도달시각을 판별하였다. 이

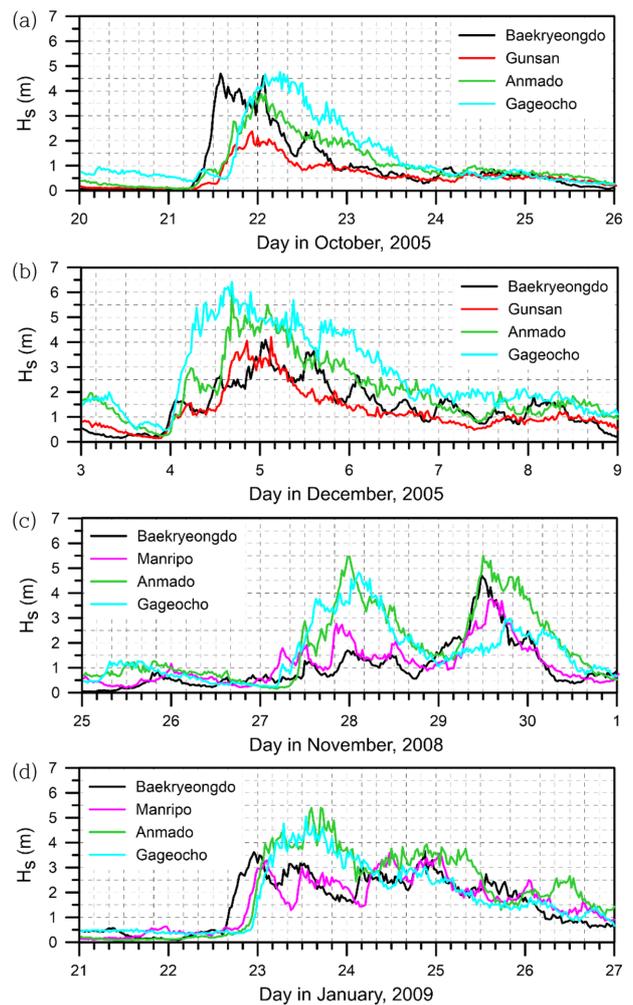


Fig. 2. Time series of the significant wave height at the measurement stations during the four high wave events.

Table 2. First wave appearance time at the wave measurement stations (date/time)

Station	Oct. 2005	Dec. 2005	Nov. 2008	Jan. 2009
Baekryeongdo	21/06:30	03/23:00	27/05:00	22/14:30
Manripo	-	-	27/02:00	22/19:30
Gunsan	21/13:30	03/23:00	-	-
Anmado	21/09:30	03/23:30	27/09:00	22/20:00
Gageocho	21/07:30	03/23:30	27/04:00	22/22:00

Table 3. Maximum significant wave heights observed at the wave measurement stations (unit: m)

Station	Oct. 2005	Dec. 2005	Nov. 2008	Jan. 2009
Baekryeongdo	4.70	4.09	4.73	3.66
Manripo	-	-	3.78	3.59
Gunsan	2.38	4.20	-	-
Anmado	3.92	6.00	5.49	5.40
Gageocho	4.76	6.42	4.82	5.05

렇게 계산된 고파의 최초 도달 시각을 Table 2에 나타내었다. 2005년 12월의 경우에는 4곳의 관측점에서 파고 상승 시각이 거의 일치하였고, 2009년 1월의 경우에는 북쪽에 위치한 관측점에서부터 순차적으로 파고 상승 시각이 나타났다. 나머지 두 경우에는 파고 상승 시각에 일정한 경향성이 나타나지는 않았다. 한편, 유의파고의 최대값은 관측기간 및 관측점에 따라서 대체로 3~6 m 범위에 분포하였으며, Table 3에 각 지점에서 관측된 유의파고의 최대값을 제시하였다. 이 중 2005년 12월 4일 가거초에서 관측된 6.42 m가 가장 큰 값이었다.

Fig. 3에는 같은 기간 동안의 유의파주기(T_s)의 시계열을 나타내었다. 유의파주기는 제로크로싱 방법에 의한 상위 1/3파의 평균주기로 계산하였다. 전반적으로 고파가 내습함에 따라 유의파주기가 증가하는 경향은 Fig. 2에 보인 유의파고의 시계열과 매우 유사하였다. 대부분의 경우 고파의 내습 전에는 유의파주기가 대체로 5~7 s 범위에서 형성되었다가 파고 상승에 동반하여 유의파주기가 9~11 s 범위까지 증가하는 경향이 분명하게 나타났다. 관측기간 중 유의파주기의 최대값은 2005년 12월 4일 가거초에서 관측된 10.7 s였다. 한편, 가거초에서는 2009년 1월 21~22일에 보인 것처럼 고파가 내습하기 전에도 유의파주기가 8 s 이상으로 상당히 큰 시기가 관측되었는데, 이러한 현상은 다른 세 관측점과는 차별화되는 경향이었다.

한편, Fig. 4에는 이 논문에서 분석을 수행한 네 기간 중 가장 큰 파고가 관측되었던 2005년 12월 고파 발생 동안의 파형경사 변화 추이를 나타내었다. 고파 내습 이후 파형경사가 급격하게 상승하여 침두값에 도달한 후 완만하게 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타나며, 이러한 경향은 나머지 3개의 고파 발생 기간 중에도 공통적으로 나타났다. 고파 내습 이후의 파형경사 침두값은 대체로 0.06~0.07 범위에 이르게 되는데 이는 고파의 특성이 풍파(wind wave)적 성격이 강함을

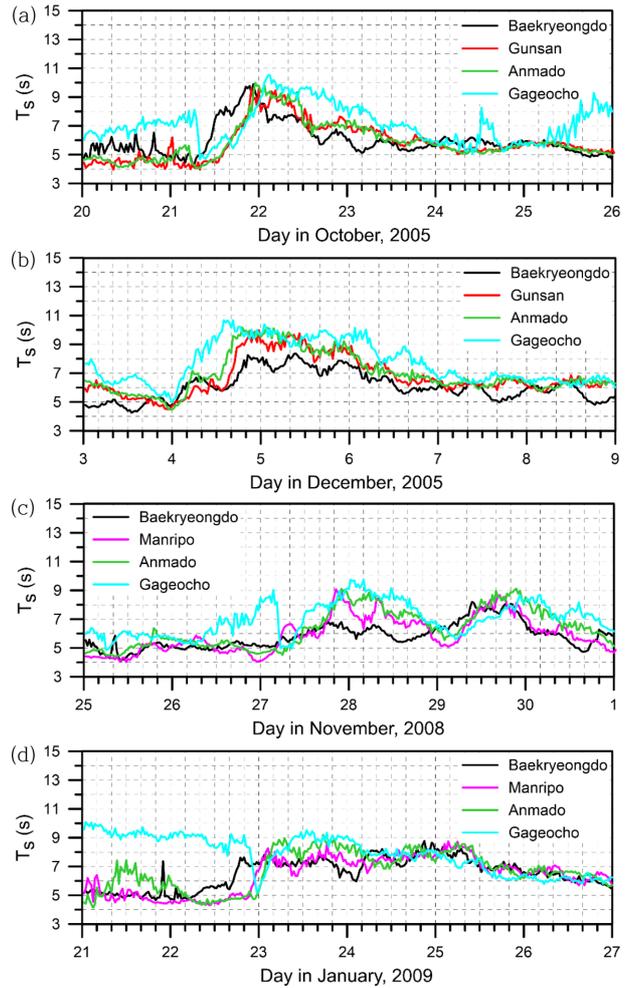


Fig. 3. Time series of the significant wave period at the measurement stations during the four high wave events.

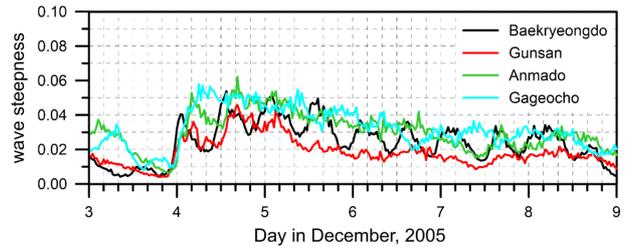


Fig. 4. Time series of the wave steepness at the measurement stations during the high wave events in December 2005.

의미하는 것이다. 즉, 서해상 먼바다에서 발달한 파랑이 해안가로 밀려오는 너울성 파랑의 성격보다는 각 파랑 관측점 인근 해상에서의 국지적 강풍에 의해서 형성되는 풍파의 성격이 지배적인 것으로 판단된다. 너울성 파랑이 발달하기 위해서는 충분한 풍역과 취송거리가 필요하지만 서해는 지형적 여건 상 이러한 조건이 충족되지 못하기 때문에 이러한 특성이 나타나는 것으로 보인다. 위에서 살펴본 것처럼 각 관측점 별로 파고 상승 시각에 뚜렷한 경향성이 나타나지 않는 것도 이처럼 파랑 발달에 있어 너울보다는 국지적 바람의 영향이 크기 때문인 것으로 판단된다.

3. 서해 고파 발생 시 기상자료 분석

위에서 살펴본 서해상 고파 발생 기간 동안의 기상상황을 파악하고 고파 발생과의 관련성을 검토하기 위해서 기상청에서 제공하는 해당 기간 동안의 지상 일기도 및 10분 간격의 평균 풍향, 풍속 자료를 입수하여 분석하였다. Fig. 5에는 가장 큰 고파가 발생하였던 2005년 12월에 서해 상에서 발생한 고파가 최대값을 나타내었던 시점과 가장 인접한 시각의 지상 일기도를 제시하였다. 참고로, 기상청의 지상 일기도는 3시간 간격으로 제공된다. Fig. 5로부터 서해안에 위치한 관측점에 고파가 내습하였던 시점에 서해상에 강한 기압골이 형성되었음을 확인할 수 있으며, 이러한 기압배치는 중국 내륙에는 강한 고기압이 자리잡고 있으면서 그보다 동쪽에는 저

기압이 위치하고 있기 때문에 나타나게 된다. 따라서, 서해상에는 동서 방향으로 강한 기압경사가 형성되고 기압 등고선을 따라 강풍이 불게 되어 서해상에 고파가 발생하기 쉬운 조건이 만들어지게 된다. 비록 Fig. 5에는 2005년 12월의 지상 일기도만 제시하였지만 다른 고파 발생 기간 동안에도 Fig. 5와 매우 유사한 기압 배치가 나타났다.

3.1 온대성저기압의 이동경로

Fig. 5에 보인 지상 일기도는 서해상에 고파가 발생하였던 시기 중 특정 시각(Fig. 5의 좌측 상단에 표시된 시각)에 해당하는 기압배치를 나타내는 것이며, 이러한 기압배치는 온대성저기압의 이동에 따라서 계속 변화하게 되므로 그에 따른 바람 및 파랑장이 지속적으로 달라지게 된다. 이러한 점을 고려하여 고파가 발생한 네 기간 동안 온대성저기압의 이동경로를 추적하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 제시하였다. Fig. 6에서 각각의 원은 온대성저기압의 중심 위치를 나타내며, 원 안의 숫자는 고파가 최초로 서해안에 도달한 시각에 대한 시간차를 의미한다.

2005년 10월에는 Fig. 6에 보인 것처럼 중국 내륙에서 생성된 온대성저기압이 북한 함경북도 앞바다로 진출한 후에 매우 느린 속도로 동쪽으로 이동하였다. 이 당시에는 서해안뿐만 아니라 동해안에도 이 온대성저기압에 의한 고파가 내습하였는데, 동해안의 경우에는 강릉과 묵호 지역에 고파가 도달하기 시작한 시각이 21일 오후 6시경으로(Oh et al., 2010), 서해안에 비해서 약 6~12시간 정도 늦었다. 이것은 당시 저기압의 중심은 동해상에서 이동하였지만 서해상에도 강한 기압골이 형성되어 강풍이 불기 시작한 시점이 동해 쪽보다 빨랐기 때문이다. 한편, 2005년 12월의 경우에는 온대성저기압이 중국 산둥(山東) 지방에서부터 서해로 진출한 후 우리나라의 남부지방을 가로질러 동해 남부 해상으로 이동하였다.

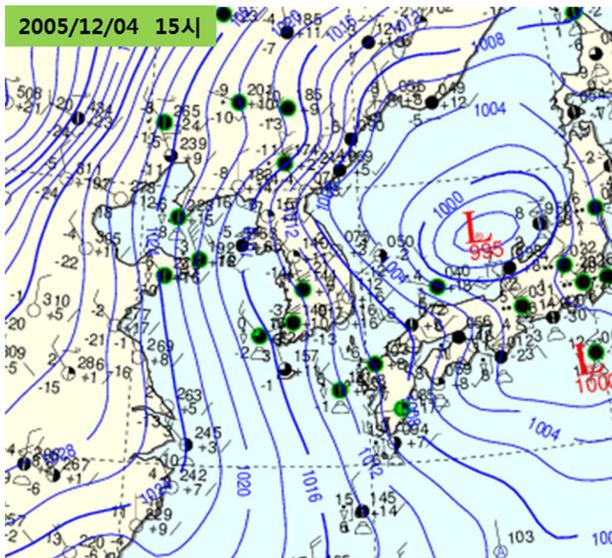


Fig. 5. Weather chart during the high wave event in December 2005.

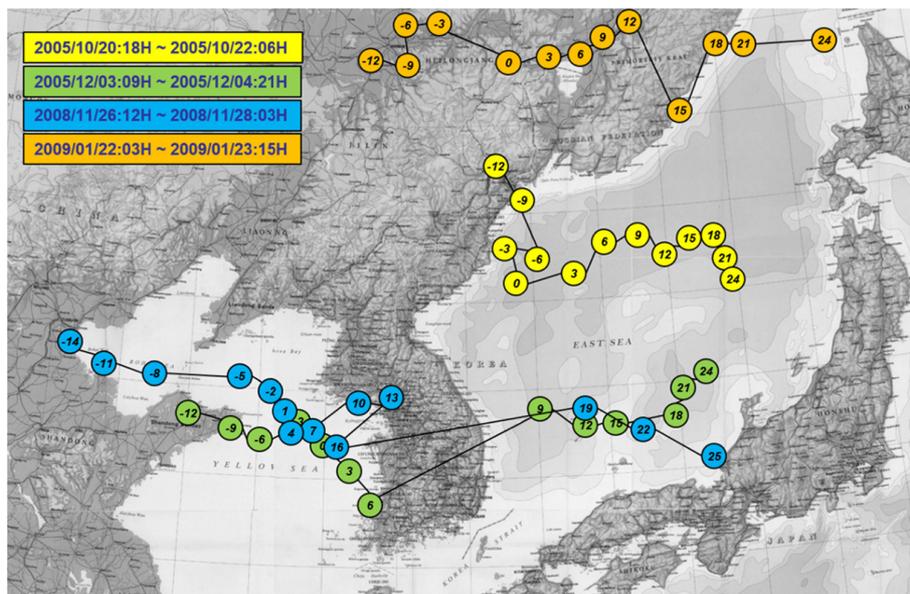


Fig. 6. The paths following the center of the low pressures during the four high wave events.

저기압의 중심이 서해에 진출한 시각은 12월 3일 12시경이며, 서해안의 파랑 관측점에 고파가 도달하기 약 9시간 전이었다. 서해안 파랑 관측점에 고파가 도달한 이후에도 온대성 저기압의 중심은 계속 동진하였지만 서해상에는 강한 기압골이 계속해서 형성되었다.

2008년 11월과 2009년 1월에도 서해안 고파 내습 시 중국 내륙에서 형성된 온대성저기압이 동쪽으로 이동하는 현상이 공통적으로 관찰되었다. 2008년 11월의 경우 온대성저기압의 이동 경로는 2005년 12월과 매우 유사하였고, 저기압 중심이 중국 내륙으로부터 서해상에 진출한 시각은 11월 26일 12시경으로 서해안에 고파가 도달하기 약 14시간 전으로 2005년 12월에 비해서는 더 늦은 편이었다. 반면에, 2009년 1월에는 온대성저기압이 이보다 훨씬 북쪽인 중국 헤이룽(黑龍江) 지방에서부터 러시아 연해주 지방을 거쳐 일본 홋카이도 서쪽의 동해로 진행하는 경로를 따라 이동하였다. 이처럼 저기압의 중심이 상당히 북쪽에 위치하였기 때문에 저기압의 중심은 서해상을 통과하지 않고 바로 동해로 진출하였으며, 저기압 중심이 동해로 빠져 나온 시각(1월 23일 6시경)은 고파가 서해안 파랑 관측점에 도달한지 15시간 정도 경과한 후로서 2005년 10월의 경우와 비교해보면 훨씬 더 늦은 편이었다.

위에서 고찰한 것처럼 서해상에서 고파가 발생하는 경우 강한 온대성저기압이 발달하여 동쪽으로 진행하는 기상현상이 공통적으로 나타남을 확인할 수 있다. 일반적으로 겨울철에 아시아 대륙에서 발생하는 온대성저기압은 우리나라의 서해, 동해 또는 동중국해를 지나 북동진하여 오후츠크해나 알류산 열도 쪽으로 향하게 되며, 이러한 온대성저기압의 이동경로는 크게 한반도의 북쪽을 통과하는 경우, 중부를 통과하는 경우 및 남해상을 통과하는 경우의 3가지로 분류할 수 있다(Chong and Seol, 2007). 이 분류 기준에 의하면 2005년 10월과

2009년 1월은 첫 번째 경우에 해당하며, 2005년 12월과 2008년 11월은 두 번째 경우에 해당한다. 그러나, 세 번째 분류에 해당하는 경우에는 온대성저기압이 동중국해를 거쳐 우리나라 남해상을 통과하기 때문에 서해상에 고파가 발생하기에는 불리한 조건이 된다.

3.2 저기압 중심기압의 변화

Fig. 7에는 Fig. 6에 보인 온대성저기압 이동 기간 동안의 저기압 중심기압 변화를 나타내었다. Fig. 7에서 가로축은 서해안 파랑 관측점 중 어느 한 곳에 최초로 파랑이 도달한 시각으로부터의 경과 시간을 의미하며, 세로축은 온대성저기압의 중심기압을 나타낸다. Fig. 7으로부터 고파가 발생하였던 네 기간 동안에 발생한 온대성저기압의 중심기압이 모두 거의 선형적으로 하강하였음을 알 수 있다. 각각의 저기압 이동 경로는 Fig. 6에 보인 것처럼 서로 달랐지만 저기압의 중심기압은 고파가 서해안에 위치한 파랑 관측지점에 도달하기 최소 6~12시간 전부터 감소하기 시작하여 고파 도착 이후에도 지속적으로 하강하는 경향이 공통적으로 관측되었다. 특히 2005년 12월의 경우에는 36시간 동안 지속적으로 저기압 중심기압이 34 hPa이나 하강하여 990 hPa 수준에 이르렀는데, 이처럼 매우 짧은 시간에 온대성저기압의 중심기압이 급속하게 낮아져 태풍에 준하는 규모로 발달하는 현상이 우리나라 주변 연안에서 간헐적으로 나타나는 것으로 보고된 바 있다(Chung, 1996).

3.3 서해상 풍속 및 풍향

3.1 및 3.2절을 통해서 서해상에 고파가 발생한 시기에는 온대성저기압이 생성되어 중심기압이 낮아지면서 발달하기 때문에 그로 인해 강한 기압경사가 서해상에 형성되었음을 확인할 수 있다. 따라서 이 시기 해상에는 강풍이 불었을 것으로 추정할 수 있다. 이를 확인하기 위해 ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 바람 자료를 입수하여 Fig. 5에 보인 일기도 시각에서의 ECMWF 해상풍 벡터도를 Fig. 8에 나타내었다. 고파가 발생하였던 관측기간 동안에 풍속 10~20 m/s 정도의 강한 바람장이 서해상에 형성되었음을 확인할 수 있다. 나머지 고파 발생 기간 중에도 Fig. 8과 유사한 해상풍 분포가 나타났으나, 풍속의 크기는 약간씩 차이를 나타내었다. 또한, 풍향은 2005년 10월과 12월에는 주로 N계열이 압도적으로 나타난 반면, 2008년 11월과 2009년 1월에는 주풍향이 W계열로 형성되었다.

고파 발생 기간 동안의 서해상 바람의 특성을 보다 세부적으로 파악하기 위해서 기상청에서 제공하는 각 지점별 10분 평균 풍속 및 풍향 자료를 추가적으로 분석에 이용하였다. 다만, 해안 내륙에 위치한 기상대에서 관측되는 바람자료는 지형적인 영향을 크게 받게 되므로 이러한 점을 고려하여 파랑 관측점보다 더 먼 해상에 위치한 고립된 암초 또는 섬에서 관측된 기상자료를 분석하였으며, 본 논문에서는 소청도, 덕적

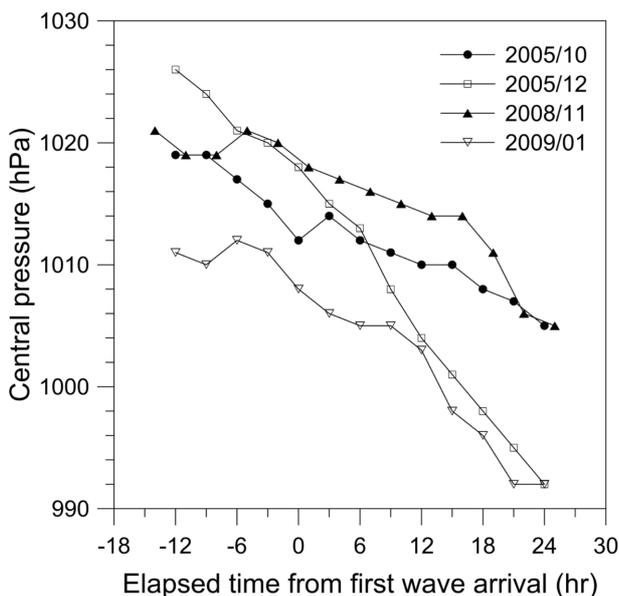


Fig. 7. Variations of the atmospheric pressure at the center of the low pressures along with their movement.

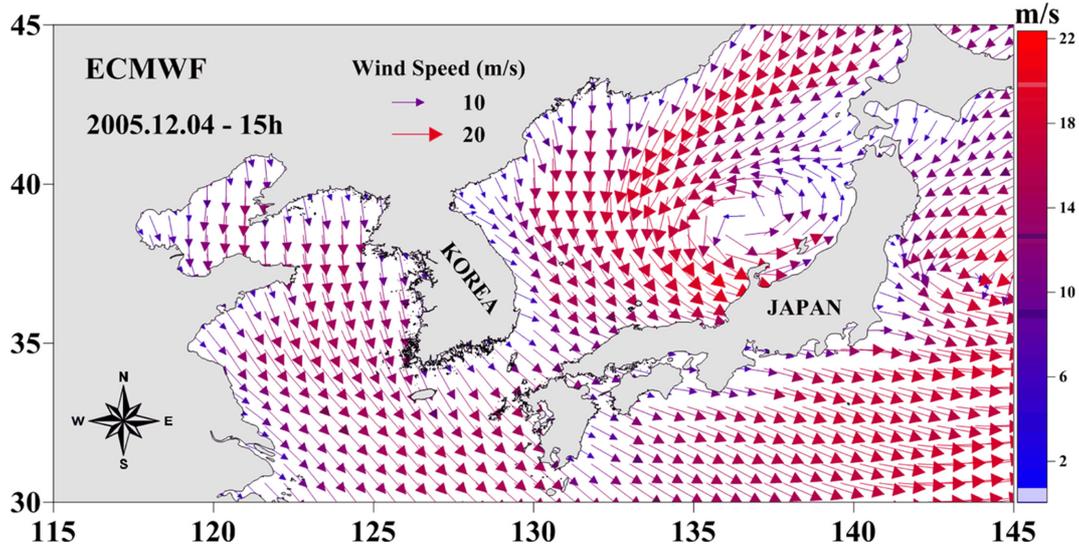


Fig. 8. ECMWF wind field over the sea around Korea during the high wave event in December 2005.

도, 갈매여, 홍도의 네 곳(Fig. 1에서 ●로 표시된 지점)에서 취득된 기상자료 분석 결과를 Figs. 9~10에 제시하였다.

Fig. 9에는 고파가 발생한 기간 동안 위 네 지점에서 관측된 평균풍속 시계열을 나타내었다. Fig. 2에 제시된 파고 관측 결과와 각각 비교해보면 평균풍속과 유의파고의 시간적 변화 양상이 매우 비슷함을 확인할 수 있다. 2005년 10월의 경우 Table 2에 제시한 것처럼 21일 6시 이후부터 고파가 파랑 관측점에 도달하기 시작하였는데, 이 시점에 위 네 기상 관측점에서의 평균풍속은 이미 10 m/s 정도에 이르렀다. 또한, 백령도, 군산, 안마도에서 모두 유의파고가 4 m 이상이 되었던 22일 자정 무렵에는 홍도에서의 평균풍속이 20 m/s를 상회하여 해상에 매우 강한 바람이 불었음을 알 수 있다. 나머지 세 기간(2005년 12월, 2008년 11월, 2009년 1월)에도 이와 마찬가지로 서해상에서의 풍속이 증가하는 시점 전후로 서해안에 위치한 파랑 관측점에 고파가 도달하기 시작하였으며, 평균풍속 및 유의파고의 첨두값이 나타나는 시점도 대체로 일치하였다.

2005년 12월 고파 발생 기간 동안의 풍향은 Fig. 10에 보인 것처럼 대체로 W(270°)~N(360°)계열 범위에서 형성되었으나, 갈매여에서의 풍향은 심한 변화 양상을 나타내었다. 나머지 세 기간(2005년 10월, 2008년 11월, 2009년 1월)동안에도 강풍이 유지되는 기간 동안에는 일부 간헐적인 변화를 제외하면 비교적 풍향이 일정하게 유지되었음을 확인할 수 있었다. 전반적으로는 주풍향이 2005년 10월과 12월에는 N계열(360°)을 중심으로 형성된 반면, 2008년 11월과 2009년 1월에는 NW계열(315°)을 중심으로 형성되어 차이가 있었으며, 이러한 결과는 ECMWF 해상풍 벡터도와도 대체로 일치하였다. 이러한 점으로부터 서해안 파랑 관측점에 도달하는 겨울철 고파의 파향 역시 대체로 N~W계열일 것으로 추정할 수 있으며, 이에 관해서는 향후 DW(Directional Waverider) 또는 AWAC(Acoustic Wave And Current profiler) 등의 관측장비로 파향을 직접 관측하여 보다 상세한 분석을 수행할 필요가 있다.

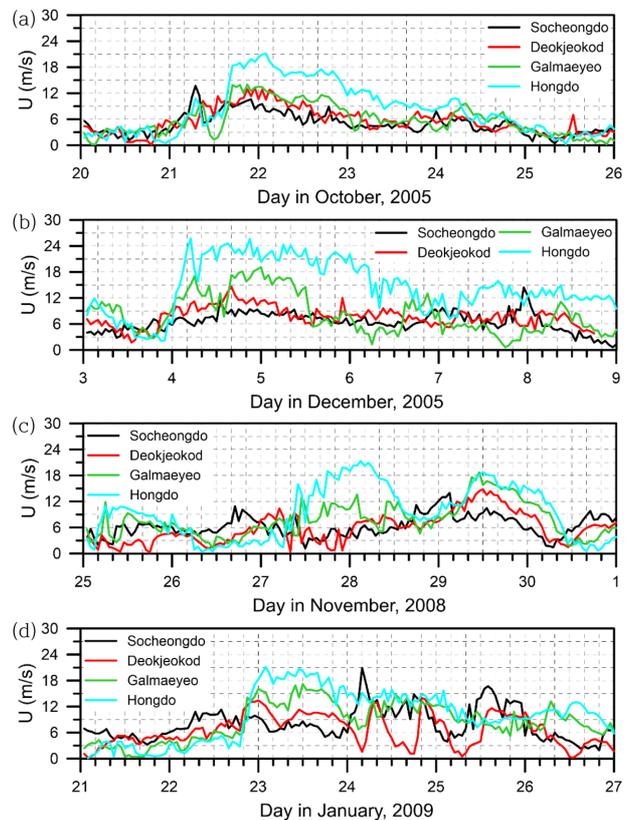


Fig. 9. Temporal variations of the wind speed at the four weather stations shown in Fig. 1.

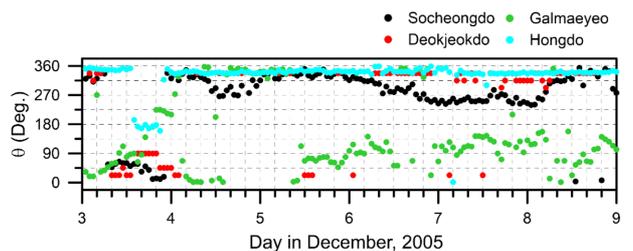


Fig. 10. Temporal variations of the wind direction at the four weather stations during the high wave event in December 2005.

4. 결 론

본 연구에서는 우리나라 서해안 대부분을 아우를 수 있는 5곳의 관측 지점에서 고파 발생 시 실측된 파랑자료 및 당시의 기상자료를 함께 분석하여 서해 고파의 특성을 상세하게 고찰하였으며, 본 연구를 통해서 얻어진 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 우리나라 서해안에 도달하는 고파 발생 시에는 언제나 중국 내륙지방에서 발생한 온대성저기압이 급속하게 발달하여 서해상에 진출하는 기상현상이 수반되었으며, 이로 인해 서해상에는 N-W계열의 강풍이 수 일간 불어 고파가 형성되기 좋은 조건이 형성되었다.

- 이처럼 우리나라 서해안에서의 고파 발생과 관련성을 가지는 온대성저기압의 발달경로는 서해상을 통과하지 않고 중국 헤이룽(黑龍江) 지방에서부터 러시아 연해주를 거쳐 동해로 직접 진출하는 경우와 중국 산둥(山東) 지방에서부터 서해상으로 진출한 뒤 우리나라를 가로질러 동해안으로 이동하는 2가지 경우로 분류되었으며, 고파 발생 시기 동안 저기압의 중심기압이 지속적으로 감소하는 경향이 공통적으로 관찰되었다.

- 본 논문에서 분석 대상으로 삼은 네 가지 파랑 관측기간 동안의 유의파고 최대값은 2005년 12월 4일 가거초에서 관측된 6.42 m였으며, 유의파주기의 최대값은 같은 날 같은 곳에서 관측된 10.7 s였다.

- 본 논문에서 고찰한 5개 파랑 관측점에 고파가 도달한 시각은 일관된 패턴을 나타내지 않았으며, 각 관측점의 위도 또는 경도에 따른 순서와도 항상 일치하는 것은 아니었다. 이로부터 서해상에서 발생하는 고파가 너울(swell)보다는 풍파(wind wave)의 성격이 지배적일 것으로 추론할 수 있었으며, 실제로 고파 관측자료로부터 계산된 파형경사의 침두값이 0.06~0.07로 매우 큰 값을 나타내어 고파의 풍파적 특성을 입증해 주었다.

감사의 글

본 연구는 한국해양과학기술원 주요사업(PE99325)과 해양수산부가 주관하고 한국해양과학기술진흥원이 시행하는 “10MW급 부유식 파력-해상풍력 연계형 발전시스템 설계기술 개발 및 인프라 구축(PM58120)” 연구사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

Chang, Y.-S., Seo, J.-W., Kim, T.-H. and Youn, Y.-H. (2003). Analysis of wave parametric characteristics using WAVEWATCH-III model and observed buoy data. *Journal of the Korean Society of*

- Oceanography*, 8(3), 274-284 (in Korean).
- Chong, K.-C. and Seol, D.-I. (2007). A selection of the refuge area in the west sea for the national fishery supervision vessel according to the trajectories of the extratropical cyclone in winter season. *Journal of Korean Navigation and Port Research*, 31(6), 555-562 (in Korean).
- Chung, H.-S. (1996). Reviewing the explosively deepening cyclone(cyclonic bomb) over the East Sea with the Satellite observations. *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, 12(2), 126-138 (in Korean).
- Hwang, P.A., Bratos, S.M., Teague, W.J., Wang, D.W., Jacobs, G.A. and Resio, D.T. (1999). Winds and waves in the Yellow and East China Seas: A comparison of spaceborne altimeter measurements and model results. *Journal of Oceanography*, 55, 307-325.
- Jeong, W.M., Oh, S.-H. and Lee, D.Y. (2007). Abnormally high waves on the east coast. *Journal of the Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 19(4), 295-302 (in Korean).
- Kim, T.I. and Chung, H.S. (1987). Determination of design wave along the west coast of Korea. *Journal of Korean Association of Hydrological Sciences*, 20(2), 127-138 (in Korean).
- Ko, H.-J., Pang, I.-C. and Kim, T.-H. (2005). Relations between wave and wind at 5 stations around the Korean peninsula, *Journal of the Korean Earth Science Society*, 26(3), 240-252 (in Korean).
- Liang, B., Fan, F., Liu, F., Gao, S. and Zuo, H. (2014). 22-year wave energy hindcast for the China east adjacent seas. *Renewable Energy*, 71, 200-207.
- Oh, S.-H., Jeong, W.-M., Lee, D.Y. and Kim, S.I. (2010). Analysis of the reason for occurrence of large-height swell-like waves in the east coast of Korea. *Journal of the Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 22(2), 101-111 (in Korean).
- Ryu, H. and Kim, D.Y. (2004). On statistical properties of the extreme waves in Hong-do sea area during typhoons. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, 7(1), 47-55 (in Korean).
- Seol, D.-I. (2010). Global warming and trends of typhoon variation. *Journal of Navigation and Port Research*, 34(6), 453-458 (in Korean).
- Yang, B., Feng, W.-B. and Zhang, Y. (2014). Wave characteristics at the south part of the radial sand ridges of the southern Yellow Sea. *China Ocean Engineering*, 28(3), 317-330.
- Zhao, Y., Yang, Y., You, X. and Liu, T. (2012). Wind-wave characteristics in the Bohai Sea, the Yellow Sea and the East China Sea: A numerical study of cold wave event. 2nd International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering.

Received 6 January, 2015

Revised 11 May, 2015

Accepted 1 June, 2015